

NICT耐災害ICT研究センターにおける研究開発と社会連携活動 ―ワイヤレス系基盤技術を中心に―



国立研究開発法人
情報通信研究機構
耐災害ICT研究
センター

すずき 陽一



国立研究開発法人
情報通信研究機構
耐災害ICT研究
センター

おおだ やすのり
大和田 泰伯



国立研究開発法人
情報通信研究機構
耐災害ICT研究
センター

くり としあき
久利 敏明



国立研究開発法人
情報通信研究機構
耐災害ICT研究
センター

ながつみ つとむ
長妻 努

1. はじめに

情報通信技術（ICT: Information and Communications Technology）は日々の社会活動の基盤である。電力グリッドや物流網の役割を人体の血流に例えるならば、ICTは神経網、脳に例え得る役割を担っている。IoT（Internet of Things）、そしてサイバーフィジカルシステムの時代を迎え、その役割はますます重く、大きなものとなっている。

しかし2011年の東日本大震災では、甚大な通信ネットワークの障害が発生し、被災情報の把握に致命的な遅れが生じたほか、被災住民の安否確認情報や生活物資情報等の伝達等に大きな支障が発生した。これを教訓とし、2011年第3次補正予算（総務省）により情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発が開始された。そして、2012年度4月に仙台市に災害に強いICTの研究開発及びその社会実装に向けた取組みを産学官連携体制の下で推進する国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）耐災害ICT研究センターが設けられ、2014年には東北大学片平キャンパスに建物が竣工した。東北大学には1935年設立の電気通信研究所があり、工学研究科、情報科学研究科等においてもICT関連研究が活発に行われている。震災後は、耐災害ICT研究に意欲を持つ教員を糾合した電気通信研究機構も設立されている。

耐災害ICT研究センターの取組みの特徴は、耐災害ICTの基盤研究、応用研究と研究開発成果の最大化に向けた社会実装促進を両輪として進めていることである。企画連携推進室がセンター内外の研究室等と連携協力し、東北大学をはじめとする様々な外部研究機関との連携促進、産学官のネットワーク形成を進めている。加えて、協議会等による耐災害ICTに係る産学官連携活動、防災訓練などを通じた耐災害ICT研究成果の実証実験及び実災害時の利活用、シンポジウムや展示などを通じた研究成果の社会展開を進めている。

本稿では、災害に強いICT基盤系技術を中心とした近年の研究開発成果と、実証実験等社会実装に向けた取組

みの概要を紹介する。

2. 耐災害ICT研究センターにおける耐災害ICT研究

当センターには2つの研究室があり、基盤領域研究室において光ネットワークプロジェクト、応用領域研究室においてワイヤレス通信応用プロジェクト、リアルタイム社会知解析プロジェクトの耐災害ICTの研究開発を実施している。

2.1 基盤領域研究室

光ネットワークは、低損失な光ファイバにより長距離・大容量の通信を実現することから、広域基幹ネットワークに用いられている。大規模災害発生時には、冗長化された光ネットワーク設備のスムーズな切替えをサポートして大規模な輻輳を緩和すること、被災地の多くの通信要求を満たすためにいち早く応急光ネットワークを設立することが将来の光ネットワーク不可欠な役割と考え、本研究室では、弾力的光スイッチング基盤技術と光ネットワークの応急復旧技術の研究開発に取り組んでいる。

大規模災害発生時には被災地域との通信が増加し、広域ネットワークにおいて輻輳が発生することが懸念される。弾力的光スイッチング基盤技術では、広域ネットワークの基盤である光ネットワークの強じん化に向け、災害時等の輻輳を防ぐため波長領域及び時間領域を動的に変更することを可能とする基盤技術の構築を目指している。音響光学素子用光パワー等価システムの処理部の最適化を行い、光スイッチングによる強度変動に対し、安定化された応答時間にて伝送品質を保つことが可能となる成果が得られているほか、異種トラフィックの相互接続技術にも取り組み、データプレーンにおける、光統合ネットワークとMPLS、Ether、OpenFlow、IPなど異種トランスポートネットワークとの相互接続のための機能要素の研究開発を進めるとともに、制御管理プレーンにおいて、相互接続のためのオーケストレーション技術を中心とした研究開発を行っている。これにより、平常時には異種トランスポートネットワークにまたがる



トラヒックの疎通が可能となる一方、災害時には大容量光統合ネットワークを中核となるトランスポートネットワークとして、災害により分断されたMPLS、Ether、OpenFlow、IP網等の異種トラヒックを緊急に中継することができ、途絶された通信の早期復旧が可能となる。

光ネットワークの応急復旧技術の研究開発では、光ファイバ通信が断絶した被災地域近傍における光ネットワークの迅速な応急復旧に向け、強力な支援ツールを用いた制御系の自律回復技術の開発に取り組んでいる。また、通信キャリア間での暫定共用パケット転送網の建設・自動制御のデータ層相互接続等の実証実験を民間企業との共同で進め、他キャリアへの秘密情報漏洩なしに全自動制御を実現している。これらの成果を基盤として、災害時に通信キャリアが連携して生残した通信設備資源等を相互利活用し、発災後の修復を促進するための研究開発と連携促進に向け、キャリア間連携のインセンティブを考慮した第三者仲介（光パス支援の相互提供、修復タスクの分担）を実現するキャリア連携プラットフォーム技術の研究開発を行っている。災害時には、このプラットフォームによる資源需給マッチングにより、キャリア間光パス資源の相互提供と修復タスクの分担という具体的なキャリア間連携の目標策定が可能となる。

また、2018年度からは日米連携プロジェクトJUNO2 (Joint Japan-US Network Opportunity 2) において次世代メトロ光ネットワークの耐災害戦略の研究開発を進めている。本研究では、自営無線メッシュネットワーク、4G、衛星、インターネット等の多種多様なアクセス手段により設定された臨時制御管理プレーンを利用して、災害によって喪失した光ネットワークの監視機能を素早く再建するロバストなテレメトリ技術の研究開発を進めている。オープンなAPI及びプロトコルを用い、監視情報を集約するテレメトリ機能の実証実験を行い、不安定かつ限られた帯域でも重要な情報を適切な優先度によってネットワークの管理機構に通知でき、ネットワークの状態をいち早く把握可能であることを検証している。

2.2 応用領域研究室

本研究室では、ネットワーク資源の限られた環境において情報流通の要件を確保するネットワーク利活用技術の研究開発を進めているワイヤレス通信応用プロジェクトと、SNS (Social Network Service) 上の災害に関する社会知情報をリアルタイムに解析し分かりやすく提供することで必要な災害情報を得る技術の研究開発を進めているリアルタ

イム社会知解析プロジェクトを推進している。

このうち、ワイヤレス通信応用プロジェクトについては、次章で近年積極的に取り組んでいる公衆通信途絶時でも利用継続できるネットワークシステム技術の研究開発とその社会展開について紹介する。また、リアルタイム社会知解析プロジェクトについては、本特集の別稿「AIを用いてSNS上の災害関連情報を活用する防災・減災に関する取り組み」に詳細な報告があるので参照されたい。

3. 公衆通信途絶時でも利用継続できるネットワークシステム技術の研究開発と成果展開

我々は、自営によるネットワークを切れにくく、切れたとしても内部で通信のみならずアプリケーションサービスを継続でき、かつ容易にネットワークの展開や構築が可能な分散型のネットワークシステム技術の研究開発を行っている。市町村などの基礎自治体では、昨今のように頻発する多種多様な自然災害に対し、迅速かつ柔軟に様々な災害対応業務を行う必要がある。このような状況では、時々刻々と変化する災害動態の全容を把握し、適時に適切な意思決定を行うための「情報」が果たす役割は非常に重要となる。一方、東日本大震災など大規模災害時には公衆通信が輻輳や障害等で必ずしも利用できない場面を経験してきていることから、そのような状況下においても現場の支援活動を円滑に継続できるよう、いかに情報の流通を維持できるかが重要な鍵となる。この情報流通を維持するネットワークシステム技術の一つとして、車両や複数の施設内に分散配置されたサーバにより情報収集し、またそのサーバ同士が様々な特性の異なる通信回線を駆使し情報同期を行うことで、離れた拠点間でも災害対応業務の継続を可能とすることを目的として開発中のダイハードネットワーク^[1]を以下に紹介する。

3.1 ダイハードネットワークの概要

3.1.1 目標とする機能要素

災害などにより公衆通信が途絶した状況下であっても、現場対応にあたる作業者がシステムを継続して利用でき、限られた通信手段を最大限活用しながら遠隔の様々な部署や組織間での情報共有を可能とするネットワークシステム技術の一つとして提案し開発している、ダイハードネットワークの特徴を以下に示す。

① 分散型オンプレミスシステム間連携

どのような状況下においても現場作業者の業務継続を可



能とするため、自律分散型アーキテクチャを採用している。つまり、集中でシステム管理・制御やサービス提供を行うノードは存在せず、それぞれのノードがオンプレミスでアプリケーションサービスの提供やネットワークの制御を行い、他の同一機能を持つノードとの接続を検出する。これにより、そのノード同士でデータ（文書ファイルや画像等）や情報の自律的な同期共有ができるため、離れた拠点に分散したシステム間のデータや情報の連携が可能となる。

② 移動体の積極的利用

先述のデータや情報の同期共有は、データや情報の更新や新たなノードとの接続といったイベント駆動型で行われる。他のノードとのデータや情報の同期は、互いに不整合が生じないように管理されたデータベースを用いて行われるように設計する。これにより、他のノードとの常時接続を前提としていなくても、それぞれのノードにて独立してデータの追加・更新を行うことを許容できるようになり、移動体同士が接近した時のみデバイス間通信によりデータの同期共有を行うとともに、情報の同期共有を情報の蓄積と運搬の手段として活用できることになる。

③ 異種通信システムの利用

ノード間を接続する通信技術としては、利用可能な様々な手段を組み合わせ、それぞれの特性に応じてアプリケーション側から使い分けが行えるような機能を実現する。例えば、無線LAN（Local Area Network、通称Wi-Fi）による移動体の接近時通信では比較的大容量のデータ交換は可能であるが通信できる距離は限られており、移動体同士がいつどの移動体とつながるか、いつ切断されるかも予測困難である。また、LPWA（Low Power Wide Area）や簡易無線を用いた通信は、ブロードキャスト性があることや比較的長距離の通信が可能である一方、非常に低速でありデータ損失の可能性も高く、画像伝送など大容量のデータ交換には不向きである。LTE（Long Term Evolution）回線は常時安定した高速インターネット接続が可能である一方、契約する携帯電話サービス事業者によってはプライベートIPv4（Internet Protocol version 4）アドレスのみの提供のためNAT（Network Address Translation）内のノード同士のIPアドレスの解決やデバイス間直接通信が行えず、グローバルアドレスを持つクラウド上を介してデータ同期を行う必要がある。これらの例のように、通信の優先度、リアルタイム性の有無、伝送データ量、同報性、双方向通信／片方向通信、といった違いのある通信手段を積極的に用い、それぞれの特性に応じて効率的に使い分けことが

できるAPI（Application Programming Interface）を整備し、ノード上で動作する分散オンプレミスシステム間連携をレジリエントに維持する。

④ 分散環境下での認証とアクセス制限

自治体業務で扱う情報の中には個人情報等も含まれており、誰もが自由にアクセスできるものであってはならない。そのため、それぞれのノードの分散型オンプレミスシステムへの接続や、その上に保管・管理されるデータや情報へのアクセスは、認証を行った利用者及び端末経由のみに制限する必要がある。また、ノード同士によるデバイス間通信や、LTE、インターネットを介した接続に対しても同様の制限が必要となる。ダイハードネットワークでは、ノード同士やインターネットとの常時接続を前提としないため、それらの分散したノード間においても、認証を伴う接続許可と、情報へのアクセス制限を行っている。

3.1.2 ダイハードネットワークノードの試作

ダイハードネットワークにおけるノードの試作を行った。試作ノードの仕様を表に示す^[1]。試作ノードでは、平時の通信手段として携帯電話網（LTEデータ通信）を使用し、各ノード及びクラウド上のノード間において自動的にデータ同期を行う仕組みを実装している。また、各ノードはLTE以外にもWi-Fiインタフェースを2つ持ち、片方はhostapd^[2]を用いてアクセスポイントとして動作させ、もう一方はwpa_supplicant^[3]によりステーションとして動作させている。Wi-Fiアクセスポイントは、他のノードと接続しデータ同期を行うだけでなく、災害対応者が持つスマートフォンやタブレット、パソコンなども収容し、それらにアプリケーションサービスを提供するためにも使用される。

試作ノードには、無線LANにおいてIEEE802.11ai規格^[4]に基づく高速接続認証技術（FILS:Fast Initial Link Setup）が実装されており、認証サーバの、DHCP（Dynamic Host

■表. 試作ノードの仕様

	仕様
Single Board Computer	Gateworks GW6300 OS:Ubuntu 16.04.05(Linux 4.14.4) CPU:Cavium OcteonTX Dual Core ARM CPU @ 800MHz RAM:DDR3 1GB Storage: SSD 250GB
無線LANインタフェース (device driver)	Qualcomm AR9300(ath9k)×2
デジタル簡易無線	waveCSR U7000UJC181 351.2~351.38125MHz(30CH) 4値FSK 4.8Kbps RS-232C接続
LTEモジュール	PIX-MT100



Configuration Protocol) サーバ、Wi-Fiアクセスポイントの機能も備え、ネットワーク上の全てのノード上でそれらの機能を動作させている。これにより、WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) Enterpriseと同等のユーザ認証を伴った無線LAN接続を高速に行うことを可能としている。また、移動体に搭載したノード間や、移動体と拠点に固定設置されたノード間ですれ違い時にデータ伝送を行うシナリオにおいて、限られたすれ違い時間内でより多くのデータ伝送を可能としている。

さらに、各ノードには長距離無線通信技術としてデジタル簡易無線装置も搭載している。このデジタル簡易無線は主にノード間の制御情報の送受に使用するが、LTEの常時接続回線が途絶した際には、優先度の高いアプリケーションデータ（少量のテキスト情報）の伝送にも利用される。それ以外にも、LoRa (Long Range) 等のIoT用途の無線通信デバイスも追加できる設計となっている。

3.1.3 アプリケーションソフトウェア

本ダイハードネットワークのシステム上で動作するアプリケーションソフトウェアとして、Webサーバベースのアプリケーションを実装している^[1]。利用者は、本システムにWi-Fi接続されたPCやスマートフォン等のWebブラウザにより、システムへの情報入力や閲覧を行うことができる。また、スマートフォンを用いた情報入力を簡易に行うために、専用のアプリケーションを開発できるAPIも提供している。これにより、登録したユーザや端末であれば、システムへのログインの省略、写真を添付した情報の更新、現場作業者の位置情報の共有、トランシーバのような音声のグループ内一斉配信など、利用者の要望に合わせたアプリケーションを実装し、本システムを介して利用することができる。

3.2 災害医療訓練における試作ノードの利用

2019年6月9日に開催された高知県総合防災訓練において、本試作ノードを使用した。訓練は南海トラフ地震の発生により、公衆通信手段が全く利用できない状況を想定して行われた。従来どおりの訓練として、従来の通信手段である防災行政無線等を用いた情報伝達訓練が行われた。具体的には、医療救護所から市災害対策本部、更に市災害対策本部から県の医療調整支部へと活動状況報告や重症患者受け入れの要請及びそれらへの応諾などを、県の様式に基づいて紙に記入し、FAXにより伝達するものであった。これと並行し、高知県医療調整支部（高知県中

央東福祉保健所）、香南市災害対策本部（ふれあいセンター）、救護病院・医療救護所（香南市赤岡保険センター）のそれぞれに試作ノードを設置し、LTE機能を無効にした状態で試作ノードを用い、紙を用いずデジタル情報のまま、同様の情報伝達訓練を実施した^[5]。本試作ノードには本訓練用に開発した情報伝達アプリケーションをインストールしており、そのノードを複数用いることによりダイハードネットワークとしてのシステムを構成した。図1は、本システムを用いた訓練における各拠点の位置と情報伝達内容を示している。

本システムでは、報告や要請を医療救護所にて情報入力すると、自動的に簡易無線を介して入力されたテキスト情報が市災害対策本部や県医療調整支部へ同期共有される。それぞれの拠点では、システム上で承認処理、応諾処理をするだけで、そのステータス情報や応諾情報も自動的に共有される仕組みを実装した。訓練に参加する市職員や県職員にこのシステムの使用を求め、訓練シナリオに沿って訓練を実施した。実際に使用したアプリケーションのスクリーンショットを図2、図3に示す。



■ 図1. 訓練における各拠点の位置と情報伝達内容



■ 図2. 情報伝達アプリケーション画面 (要請・応諾・報告ごとのステータス表示画面)



最終閲覧 中央署

EMIS代行入力依頼書(緊急時入力)

送信先		
発信元	医療機関名	品名
	電話番号	FAX番号
	メールアドレス	
日時	令和 元 年 6 月 9 日 13 時 51 分	
情報とりまとめ日時	令和 元 年 6 月 9 日 13 時 51 分	

1 医療機関機能情報(該当項目を○で囲ってください。)

人定業務の提供、または診療の提供	有	無
ライフライン・リブライズ	有	無
代替手段でのご利用時、快給「無」または「不足」を選択してください。		

※選択または値を変更しない場合は、項目名をタップまたはクリック

送信 キャンセル

■図3. 県指定の様式と同一の情報入力画面

また、訓練シナリオからは外れるが、医療救護所にて収容した重症患者の様態やトリアージタグの写真データなど、県の様式では伝えられない情報についても蓄積・運搬する実証を行った。移動する車両に搭載した試作ノードがWi-Fi経由で自動的に情報同期を行うことで、救護所のノードに登録した写真データが自動的に車両のノードに転送され、車両が医療調整支部駐車場に到着した時点でその写真データが自動的に医療調整支部のノードに転送され、同支部のパソコン上で転送された写真データの画像を表示できることを確認した。これにより、公衆通信途絶時にデジタル簡易無線では伝送が困難な容量の大きいデータであっても、車両を介して運搬することで自動的に情報共有を行えることを実証できた。

以上により、公衆通信途絶時でも利用継続できるネットワークシステム技術としての有効性を示すことができた。

3.3 今後の展望

ここまで記したようにダイハードネットワークは、災害時に現場で活動する支援者のための情報共有手段として情報流通の手段を維持できるネットワークシステム技術として開発を進め、防災訓練等での実証を行ってきた。

今後は、ダイハードネットワークに必要な個別要素技術の開発を進めるとともに、高知県香南市における「防災情報通信・管理システム」に組み込む予定である。さらに、基盤的防災情報流通ネットワーク(SIP4D: Shared

Information Platform for Disaster Management)^[6]との連携や、様々な用途に対して共通で使える機能をプラットフォーム化し、他の自治体や災害対応機関も活用できる拡張性の充実と横展開を図る予定である。

4. おわりに

耐災害ICT研究センターは東日本大震災をきっかけとして、地震等の大規模災害に強いICTを軸に研究開発や社会実装に向けて取り組んできた。一方近年では、台風やゲリラ豪雨などの風水害による被害等も頻発するとともに、ウイルスによる感染症拡大等、様々な形の“災害”に対してICTがしっかりと機能し、人命や経済的被害をできる限り減らすとともに、復旧、復興を支えて行かねばならない。ICTの発展により、市民一人ひとりがネットワークにつながっている社会において、日常の社会システム・社会サービスを担い、さらに、災害時まで連続的に保持、持続できるサイバーフィジカルICT社会基盤構築が希求される時代となっている。その実現を目指し、英語のresilientという言葉が表すように、強さと柔軟さを併せ持った耐性を持つ技術体系として更に研究開発を進めていく必要がある。

参考文献

- [1] 大和田, 他 “分散サーバ間の移動体による非同期通信を用いた災害時情報共有システム,” 信学技報, vol.120, No.73, SeMI2020-2, pp.7-12, 2020年6月.
- [2] J. Malinen: “hostapd: IEEE 802.11 AP, IEEE 802.1X/WPA/WPA2/EAP/ RADIUS Authenticator,” <https://w1.fi/hostapd/>, 2013.
- [3] J. Malinen: “hostapd: Linux WPA/WPA2/IEEE 802.1X Supplicant,” https://w1.fi/wpa_supplicant/, 2013.
- [4] “IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” IEEE Std 802.11-2016, pp.1-3534, doi: 10.1109/IEEESTD.2016.7786995, Dec. 2016.
- [5] “高知県総合防災訓練にて公衆通信手段を使わない災害時保健医療情報伝達・通信訓練を実施,” <https://www.nict.go.jp/info/topics/2019/06/20-1.html>, 2019年6月.
- [6] “基盤的防災情報流通ネットワーク (SIP4D),” <https://www.sip4d.jp/>